Aus dem Anatomischen Institut der Universität Breslau
(Direktor: Prof. Dr. H. v. Eggeling)

Untersuchungen über das menschliche Wadenbein

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung
der Doktorwürde in der Medizin und Chirurgie

der Hohen medizinischen Fakultät

der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau

Vorgelegt von

Brigitte Kühn

*

1933

Druck von R. Wagner Sohn in Weimar

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Breslau.

I. Referent: Priv.-Doz. Dr. Heidsieck.
II. Referent: Prof. Dr. v. Eggeling.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus dem Anatomischen Anzeiger Bd. 76, Nr. 17/20, 1933.
Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Nachdruck verboten.

(Aus dem Anatomischen Institut der Universität Breslau [Direktor: Prof. Dr. H. v. Eggeling].)

Untersuchungen über das menschliche Wadenbein

Von Brigitte Kühn.

Mit 7 Abbildungen im Text.

I.

Die Fibula fällt unter den Röhrenknochen des menschlichen Skeletts durch ihre Kantigkeit und ihre schlanke Form auf. Davon geben außer sehr vielen zerstreuten Angaben im osteologischen und besonders im anthropologischen Schrifttum einige Arbeiten, die dieses Skelettstück zum besonderen Gegenstand haben, ein deutliches Bild. Ebenso zeigen sie auch die starke Formverschiedenheit des Wadenbeins: Wright 1905, Marangoni 1907, Grunewald 1916, Walmsley 1918, Miyamoto 1925/26. Das Ziel dieser Untersuchungen ist bei den einzelnen Autoren verschieden.

Miyamoto geht deskriptiv vor. Er ordnet die Querschnittsbilder der Fibulamitte, die er in großer Zahl mitteilt, in vier Gruppen (und stellt ihre Häufigkeit fest): 1. In die ungleichseitig viereckige Form, 2. die T-Form, 3. die Zwischenform zwischen den beiden und 4. unregelmäßige Formen (s. Ende von Abschn. III).

Die Variabilität führt er auf eine Reduktion dieses Skelettorgans und auf seine Beziehung zu zahlreichen Muskeln zurück.

Marangoni hat das besondere Ziel, bei verschiedenen Menschenrassen und bei Tieren die Ausbildung des Wadenbeins mit der Körperhaltung (aufrechte Haltung beim Menschen) und mit dem Gebrauch und der Ausbildung des Fußes in Beziehung zu setzen. Es geht ihm mehr um das Maß als um die Form. Immerhin untersucht er auch Querschnitte, gibt sogar als erster die Wachsmethode zur Bestimmung der Querschnittsform an (s. u.) und gibt charakteristische Bilder wieder. Er findet eine stärkere Ausbildung des Wadenbeins bei Tieren, die einen stärkeren Gebrauch von ihren Füßen machen und besser ausgebildete Fußgelenke besitzen. Die beste Ausbildung des Wadenbeins in der Tierreihe besteht nach ihm beim Menschen durch die Anwesenheit der am stärksten entwickelten Muskeln, die bestimmt sind, die aufrechte Haltung zu bewahren. Außer der Gestaltung des ganzen Skeletteils werden auch seine Formmerkmale durch solche Einflüsse mitbestimmt: Anthropoiden zeigen nie eine so ausgesprochene Auskehlung wie irgendein menschliches Wadenbein. Der Verf. erklärt das damit, daß sie nicht eine so ausschließlich aufrechte Haltung haben.

Auch Wright und Walmsley, deren Methode vergleichend-anatomisch ist, stellen fest, daß die menschliche Fibula im Vergleich zu der anderer Säugetiere durchaus nicht stark reduziert ist, und beide führen die Ausbildung des Wadenbeins auf den Gebrauch des Fußes und die Entwicklung der Muskeln zurück. Auch zieht Wright besonders die aufrechte Haltung des Menschen zur Erklärung heran. Der Schaft der Fibula, der hauptsächlich zur Anheftung von Muskeln dient, variiert nach ihm ebenso stark, wie diese es tun. Das führt zu verschiedenen Formen. Der Querschnitt ist entweder mehr oder weniger viereckig, oder vorn verschmälert, oder an der lateralen oder medialen Seite gekehlt, oder messerartig flach (coultered fibula: pflugscharartiges Wadenbein). Die für das menschliche Wadenbein charakteristischen Merkmale, nämlich die deutlichen und scharfen Kanten für die Septa intermuscularia und die Membrana interossea, stehen im Zusammenhang mit der aufrechten Haltung und mit den starken Muskeln, die das Fußgewölbe tragen.

Walmsley geht auf die Querschnittsform nicht ein. Die Fibula der Säugetiere kommt in drei verschiedenen Formen vor, je nach der Ausbildung oder Rückbildung des distalen Endes, die ihrerseits vom Fußgelenk abhängig ist. Auch die mehr proximal gelegenen Fibulateile werden dadurch beeinflußt. So ist das proximale Ende bei besonderer Muskelausbildung, nämlich bei Monotremen, Marsupialiern und beim Menschen, stärker ausgebildet.

Grunewald schließlich gibt eine ausführliche Würdigung der Bedeutung des menschlichen Wadenbeins von einem anderen, dem orthopädischen Gesichtspunkt aus, aber auch er beginnt mit vergleichend-anatomischen Erwägungen. Der für uns wichtigste Abschnitt seiner Arbeit behandelt das Tibiofibulargewölbe. Die Fibula ist in der Tierreihe der variable, die Tibia der konstante Teil des Unterschenkelgerüstes. Aus der vergleichsweise guten Ausbildung des Wadenbeins beim Menschen ist zu schließen, daß es hier eine wichtige Rolle spielt. Zur Beurteilung seiner mechanischen Bedeutung sind Festigkeitsuntersuchungen am isolierten Wadenbein ganz ungeeignet. Die Wichtigkeit dieses Skeletteils ist erst verständlich aus seiner Rolle im Tibiofibulargewölbe. Die Fibula bildet den late-

ralen und hinteren Pfeiler dieses Gewölbes und kann ebenso den Biegungsbeanspruchungen in sagittaler wie frontaler Richtung Widerstand leisten. Um diesen Pfeiler herum gruppiert sich und von ihm entspringt die Hauptmasse der Muskulatur.

Wir sehen aus dieser Literaturübersicht, daß alle, die ihren Blick über den Menschen hinaus gerichtet haben, betonen, daß gerade beim Menschen die Fibula verhältnismäßig stark entwickelt ist und deshalb als wichtiger Teil des Unterschenkelgerüstes anzusehen ist. In einem gewissen Widerspruch dazu steht die große Variabilität dieses Skelettorgans. Denn starke Variabilität wird oft mit Recht zusammen mit morphologischer Reduktion und geringer funktioneller Bedeutung als Kennzeichen rudimentärer Organe angesehen.

Somit erscheint das menschliche Wadenbein als günstiges Objekt zur Nachprüfung der Anschauungen über die Entstehung der Knochenformen im allgemeinen. Für die Erörterung dieser Fragen, die schon seit über 50 Jahren im Gange ist, an Lebhaftigkeit zugenommen hat und von einem Abschluß noch weit entfernt zu sein scheint, ist die Fibula bisher nur verhältnismäßig wenig herangezogen worden, wenn auch schon Ansätze dazu gemacht sind, nicht nur — wie eben gezeigt — im engeren Schrifttum, sondern auch in zerstreuten Literaturstellen.

In den eben angeführten Arbeiten finden sich noch einmal kurz zusammengefaßt folgende Anschauungen über die Entstehung der Besonderheiten des Wadenbeins. Der stärkere Gebrauch (Fußgelenke, aufrechte Haltung) wird öfter als Ursache für die verhältnismäßig bessere Ausbildung beim Menschen angesehen und die durch diese stärkere Inanspruchnahme kräftiger entwickelte Muskulatur wird dann wieder für die größere Verschiedenheit verantwortlich gemacht (Wright, Miyamoto). Marangoni versucht ein einzelnes Formmerkmal, die Auskehlung, aus der Funktion (Körperhaltung) herzuleiten. Auch Wright führt die Deutlichkeit der Leisten und Kanten auf die starke Muskulatur zurück, die das Fußgewölbe stützt.

Nun ist schon 1857 durch L. Fick experimentell festgestellt worden, daß das normale Knochenrelief vom Vorhandensein der Muskeln abhängt (M. temporalis, Extensoren an der Tibia). Das wurde von Roux (lange Bizepssehne), Aichel (Lähmung des N. peronaeus) und Weidenreich (M. flex hall. longus) durch Beobachtungen von Fällen bestätigt, bei denen die Muskelwirkung fehlte. Für die Schädelkämme ist der Einfluß der Muskulatur von Mollison

gezeigt worden. Doch die Frage nach der genaueren Art der Beziehungen der Muskeln zur Oberflächenbildung der Skeletteile kann durchaus noch nicht als geklärt gelten.

Die Anheftung der Muskeln an die Skeletteile kommt in zwei verschiedenen Formen vor: die Sehnenfasern heften sich entweder an das Periost an oder strahlen unmittelbar in die Hartsubstanz ein, bei niederen Wirbeltieren (nach Schubert, Heidsieck) ebenso wie beim Menschen (nach Petersen). An den knöchernen Skelettstücken scheint nach Petersen die Anheftung an das Periost eine viel größere Rolle zu spielen, als die Einstrahlung, (an den knorpeligen Teilen der Selachier ist es nach Schubert umgekehrt). Es ist bekannt, daß Muskelansatzorte sowohl als Höcker und Rauhigkeiten wie auch als Vertiefungen oder als glatte Stellen auftreten können. (1930 hat Dolgo-Saburoff — zit. nach anat. Bericht — folgende Einteilung vorgenommen: bei sehniger Anheftung Höcker, Fortsatz, Kamm und Rauhigkeit, — bei fleischiger Anheftung eine glatte Stelle oder Konkavität. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieses einfache Schema bestätigt. Meine Befunde sprechen nicht dafür.)

Ebensowenig ist es geklärt, welche Kräfte bei der Reliefbildung oder überhaupt bei der Apposition und Resorption des Knochens wirksam sind. Dauerdruck soll (nach Jores) Resorption, intermittierende Einwirkung von Druck verstärkte Apposition hervorrufen. Das Fehlen von Druck scheint das Wachstum zu fördern (schon nach L. Fick und Lesshaft), der Knochen demnach also in „leere Räume" hinein zu wachsen, ebenso scheint auch ein Zug am Periost durch Sehnen oder Fascien wirken zu können (Aichel u. a.). An Sehnen, die unmittelbar in den Knochen einstrahlen, kann durch ihre teilweise Verknöcherung ein Knochenzuwachs stattfinden (Weidenreich), — Lesshaft führt den Einfluß der den Knochen umgebenden Muskulatur hauptsächlich auf die gemeinsame Quelle ihrer Ernährung zurück. Er fand Konkavität eines Knochens auf der Seite eines gelähmten, also schlechter ernährten Muskels, bzw. Konvexität auf der gesunden Seite. Andererseits bestätigt wie gesagt auch Lesshaft die Ansichten anderer Autoren, daß Knochen sich da stärker ausbildet, wo umgebende Weichteile keinen Widerstand entgegensetzen und „die Knochen ihre definitive Gestalt gewinnen, indem sie langsam in die Zwischenräume und Lücken der vorausschreitenden Organe, mit einem Worte, nach dem Locus minoris resistentiae hineinwachsen" (L. Fick).

Von den Erklärungsversuchen des Oberflächenreliefs sind die Versuche, die Grundform eines Skelettorgans zu erklären, wohl zu trennen. Während für das erstere trotz aller Verschiedenheiten doch der Einfluß der Umgebung des Knochens innerhalb des individuellen Lebens als entscheidend angesehen wird, ist man geneigt, die letztere als vererbt anzusehen, („die Erbform", WEIDENREICH).

Die folgenden Untersuchungen sollen einen Beitrag zu diesen Fragen liefern.

II.

Bei der Fibula des Menschen bildet sich ebenso wie bei anderen Skeletteilen die Form der Knochenoberfläche erst allmählich im Laufe des Lebens deutlich aus. Andeutungen einer solchen Formung finden sich aber schon in der Fetalzeit und beim jungen Kinde. Diese Vorstufen der endgültigen Form will ich jetzt zunächst behandeln.

Die fetalen Objekte stammen aus dem 6. und 7.—8. Monat, die mir zur Verfügung stehenden kindlichen sind ungefähr 1—8 Monate und 6, 10, 13 und 16 Jahre alt. Zusammen sind es 11 Fibulapaare.

Zur Feststellung der Querschnittsformen, ohne die Wadenbeine zerschneiden zu müssen, konnte bei erwachsenen Knochen (s. u.) die Wachsmethode von MARANGONI nach den Angaben von MARTIN angewandt werden. Bei dieser Methode wird eine Wachsform hergestellt und mit Gips ausgefüllt. Bei den kind-

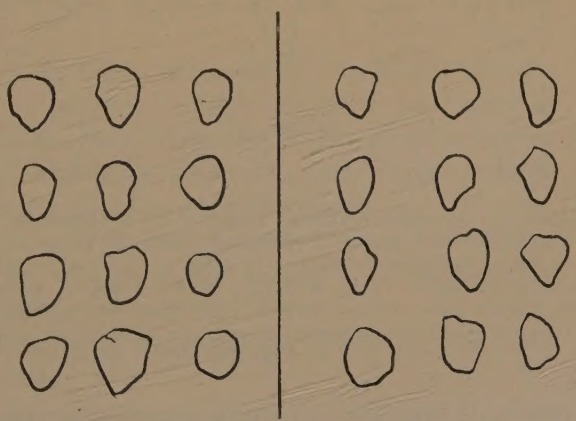


Abb. 1. Querschnittsbilder kindlicher Wadenbeine vom 1. bis 8. Monat. Von oben nach unten: 1. Reihe 1. Monat, 2. Reihe 3. Monat, 3. Reihe 6. Monat, 4. Reihe 8. Monat. — Von links nach rechts: 1. Reihe: rechts, oberes Drittel (s. Text); 2. Reihe: rechts, Mitte; 3. Reihe: rechts, unteres Drittel; 4. Reihe: links, oberes Drittel; 5. Reihe: links, Mitte; 6. Reihe: links, unteres Drittel. (Der am weitesten unten gelegene Punkt jedes Querschnittes bezeichnet die Crista anterior.)

lichen Wadenbeinen mußte das Verfahren gewissermaßen umgekehrt werden. Denn die Untersuchungen wurden hier an ganzen Skeletten vorgenommen, nicht an isolierten Wadenbeinen. Da der Zwischenraum zwischen den Unterschenkelknochen zu gering war, um einen Wachsring einwandfrei um die Fibula kneten

zu können, wurden mit Gips getränkte Mullstreifen von ungefähr ½ cm Breite an vorher mit Rotstift bezeichneten Stellen am oberen Drittel, in der Mitte und am unteren Drittel (über die Wahl dieser Orte vgl. später das Verfahren bei Erwachsenen) mehrfach um den Knochen gewickelt. War der Gips erstarrt, so schnitt ich den Bindenring an einer Seite in der Knochenlängsrichtung ein. Die Form ließ sich dann ablösen und elastisch von dem dünnen Knochenstab herunterziehen. Mit etwas Gips wurde die Schnittstelle wieder verklebt, nachdem der Rand an der Abdruckstelle des Rotstiftstreifens gerade geschnitten war (die Höhe der Querschnittsebene war hier nicht mit der gleichen Genauigkeit zu bestimmen wie bei Erwachsenen, s. u.). Diese Gipsform füllte ich nun mit Wachs. Der obere

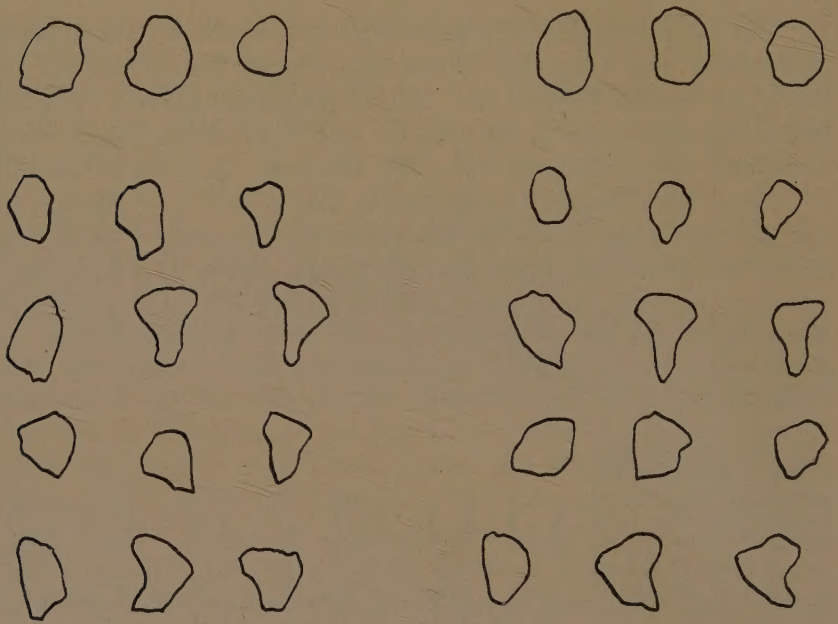


Abb. 2. Querschnittsbilder kindlicher Wadenbeine vom 6. bis 16. Jahr. Von oben nach unten: 1. Reihe 6. Jahr, 2. Reihe 6. Jahr; 3. Reihe 10. Jahr, 4. Reihe 13. Jahr, 5. Reihe 16. Jahr. — Von links nach rechts: 1. Reihe: rechts, oberes Drittel (s. Text); 2. Reihe: rechts, Mitte; 3. Reihe: rechts, unteres Drittel; 4. Reihe: links, oberes Drittel; 5. Reihe: links, Mitte; 6. Reihe: links, unteres Drittel. (Der am weitesten unten gelegene Punkt jedes Querschnittes bezeichnet die Crista anterior.)

Rand wurde geglättet und photographiert. Die Photogramme, die die Grenze zwischen dem weißen Gips und dem dunklen Wachs deutlich zeigen, dienten als Grundlage für die hier abgebildeten Zeichnungen (s. Abb. 1 und 2).

Bei den fetalen Objekten war wegen des geringen Umfanges auch diese Methode anzuwenden nicht mehr möglich, ich mußte mich auf Abschätzung und Anblick beschränken. Schon bei der bloßen Be-

tastung der beiden fetalen Wadenbeine hat man durchaus nicht den Eindruck, daß der Querschnitt rund ist, bzw. keine Modellierung aufweist. Vielmehr fühlt man die Crista anterior angedeutet bei dem sechsmonatigen Fetus, ausgeprägt bei dem älteren. Dieser zeigt auch schon deutlich eine Crista lateralis. Die Crista interossea ist ebenfalls gut tastbar, während die Stelle der medialen Kante noch vollkommen abgerundet ist.

Im Querschnitt durch die Mitte der Wadenbeine boten sich folgende Bilder (Abb 3): Im 6. Monat medial leichte Einkerbung, lateral leichte Abrundung, die Crista anterior ein wenig vorspringend und leicht kantig. Im 7. bis 8. Monat medial und lateral gerade Flächen oder nur ganz seicht vertieft: Facies post, sowie die mediale Kante abgerundet, die drei anderen Kanten, wie oben gesagt, verhältnismäßig scharf ausgebildet. Die jüngere Fibula macht einen leicht vierflächigen Eindruck, während die ältere schon dreiseitig erscheint. Die Frage bleibt natürlich offen, ob es sich hierbei um individuelle Verschiedenheiten oder um Altersunterschiede handelt.

Abb. 3. Fetal (links 6. Monat, rechts 7.—8. Monat). Medial im Bilde links, Cr. anterior unten.

Fürst fand bei einem 20 mm langen Embryo: „Die Tibia liegt weiter nach vorn als die Fibula. Beide sind gleich lang und an den Seiten abgeflacht".

Halonen sagt über die fetale Form der Fibula S. 47: „In der frühesten Fetalperiode . . . ist das Durchschnittsbild der Diaphyse beinahe rund, jedoch zeigen sich schon die Stellen, welche später die Crista anterior und die Crista interossea bilden, als stumpfe Winkel an der Querschnittsperipherie der Diaphyse.

Während der späteren Fetalzeit ist die Fibula stark in med.-lat. Richtung abgeplattet, die Crista anterior kantiger als bei Erwachsenen, die Crista lateralis dagegen runder."

Dabei bezieht sich der erste Satz auf zwei Feten von 202 und 249 mm Scheitelfersenlänge.

Die Querschnitte der kindlichen Fibulae muß man in zwei Gruppen trennen. Die erste bilden die 1—8monatigen Wadenbeine, die andere Gruppe die 6—16jährigen. Die erste Gruppe (Abb. 1) weist ziemlich rundliche Querschnitte auf, mit nur geringer Modellierung. Die Crista anterior ist aber meistens deutlich erkennbar. Bei einigen Abbildungen kann man unschwer eine vierflächige Form

erkennen. So bieten also diese kindlichen Wadenbeine scheinbar keinen Fortschritt im Vergleich zu den fetalen.

Erst die Querschnittbilder der älteren Kinder (Abb. 2) zeigen den Übergang vom rundlichen Kinderknochen zum gut modellierten Erwachsenenknochen.

III.

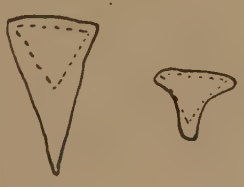
An erwachsenen Wadenbeinen stand mir ein größeres Material zur Verfügung.

Bei einer einfachen Durchmusterung der Formen von 97 Wadenbeinen schien mir vor allem die Crista anterior wechselreich in Bezug auf ihre Schärfe und ihr Hervortreten aus der Grundfigur des Knochens, und die Facies lat. bezüglich der Tiefe ihrer Einkerbung. An Hand dieser beiden hervorstechenden Merkmale fand ich mehrere verschiedene Typen, von denen nur die extremen Fälle scharf gegeneinander abzugrenzen sind. Besonders häufig war folgende Form, die deswegen als „Normaltyp" (N) beschrieben werden soll: In der proximalen Hälfte (ungefähr $4^1/_2$ cm vom Capitulum entfernt beginnend) findet sich eine seichte Einkerbung der Facies lateralis entsprechend dem Ansatz des M. peronaeus longus. Die distale Hälfte ist leicht nach außen gewölbt oder doch ohne jede Vertiefung. Hier der Ursprung des M. peronaeus brevis. Die vordere bzw. mediale Begrenzung der Facies lateralis, die Crista anterior, verläuft im großen und ganzen gerade nach unten bis zu ihrer Gabelung, die verschieden hoch ist, jedoch nie die Mitte überschreitet. Ihre Schärfe und Kantigkeit hat ein durchschnittliches Maß bei einer noch kleineren Anzahl innerhalb dieser Gruppe; man könnte die Fälle mit größerer oder geringerer Kantenschärfe, soweit sie im übrigen dem Normaltyp entsprechen, als Unterabteilungen zu N rechnen. Die anderen Kanten und Flächen sind innerhalb der Gruppe N ohne Besonderheiten. Unter den Typus N fallen 67 der untersuchten Knochen. Fünf Wadenbeine wiesen eine extrem tiefe Einkerbung ihrer seitlichen Fläche im proximalen Teil auf (dieser wurde nicht bei allen genau eingehalten) und weit hervorspringende Leisten, vor allem eine starke Crista anterior (A). 16 Fibulae besitzen eine sich weit nach distal über den ganzen Schaft hinziehende Kanellierung (B). 9 Fälle schließlich boten eine vollständig abgerundete Facies lateralis (C). Alle Übergangsformen habe ich zu N gerechnet.

Die Kantenschärfen der 3 Cristae eines Knochens entsprechen einander ungefähr. Nur bei einem der Wadenbeine fand ich eine

scharfe Crista anterior bei Stumpfheit der beiden anderen. Ich kann somit v. Luschka nicht beistimmen, nach dessen Beschreibung es zum Normaltypus der Fibula gehört, daß besonders die vordere Kante zugeschärft ist: „Der Schaft ist ähnlich jenem der Tibia dreiseitig prismatisch geformt . . . . . die äußere und die innere Seite . . . . sind der Länge nach seicht vertieft und stoßen unter sehr spitzem Winkel zur Bildung des vorderen Randes — Crista fibulae — zusammen, welcher eine schneidende Schärfe besitzt."

Das Hervorragen der Kanten sowie ihre Schärfe ist nicht ohne weiteres abhängig von der Form der sie begrenzenden Knochenflächen. Es kommt vor, daß verhältnismäßig ebene, nur wenig ausgehöhlte Flächen eine scharf hervorspringende Kante begrenzen (s. Abb. 4a) und umgekehrt tief ausgekehlte Flächen eine nur niedrige Leiste zwischen sich fassen (s. Abb. 4b).



a. b.

Abb. 4. Schematische Darstellung des Verhältnisses der Leisten und Flächen zueinander. Grundfigur gestrichelt.

Wright fand, daß die Fibula: "is characterised by unusually distinct and sharp borders for the fibrous septa and the interosseous membrane." Bei meinen Befunden hatten nur ungefähr 5% "unusually distinct and sharp borders", so daß ich diese Eigenschaft nicht als unbedingt charakteristisch für die Fibula ansehen möchte.

Schon aus dem bisher über das erwachsene Wadenbein Gesagten ergibt sich mit großer Deutlichkeit eine Bestätigung dessen, was in der Literaturübersicht von der bedeutenden Variabilität dieses Skeletteiles gesagt war. Viel deutlicher wird der große Formenreichtum der Fibula bei Betrachtung von Querschnittsbildern, allerdings auch viel unübersichtlicher.

Martin sagt über das Wadenbein (Bd. II, S. 1166): „. . . . . durch seine Beziehung zu zahlreichen Muskeln sind Form und Relief desselben einer außerordentlichen individuellen Schwankung unterworfen. Diese Mannigfaltigkeit des Reliefs äußert sich am deutlichsten an den Querschnittsbildern, die bald rund, bald drei- und vierseitig sind, bald die Form eines Dreistrahlers, eines T oder eines V annehmen können (Marangoni). Selbst messerartig abgeplattete Knochen kommen vor."

Von 143 Wadenbeinen fertigte ich Querschnittsbilder an und zwar im oberen und unteren Drittel und in der Mitte. Zur Anfertigung

der Bilder wandte ich eine schon oben (Literaturbericht über Marangoni) erwähnte Technik an, wie sie von Martin angegeben wird.

Zur Vorbereitung dazu wurden die drei Höhen, deren Bild aufgenommen werden sollte, bestimmt: Die am weitesten in der Längsrichtung des Skeletteils voneinander entfernten Punkte wurden am mazerierten und in ein Stativ eingeklemmten Wadenbein mit Hilfe des Martin'schen Parallelographen immer in gleicher Weise senkrecht übereinandergestellt und dann wurde mittels eines Gleitzirkels die Strecke zwischen den genannten beiden Punkten halbiert und gedrittelt. Die so gewonnenen Knochenhöhen wurden mit rotem Hautstift ringsherum am Skeletteil angemerkt. Nun wurde ein Wachsstreifen von 3—4 mm Dicke und 1½ cm Breite an den markierten Stellen fest um den Knochen angedrückt. Nachdem das Wachs erkaltet war, schnitt ich an zwei gegenüberliegenden Stellen den Wachsring auf und löste die Form. Auf der Innenseite der beiden Halbringe hatte sich die rote Linie abgezeichnet, so daß ich den oberen Rand der Form genau bis zu der Linie abschneiden konnte. Jetzt fügte ich beide Halbringe mit einem nicht zu heißen Spatel zusammen, befestigte sie durch Erwärmen des unteren Randes auf einer Glasplatte und füllte die Form mit Gipsbrei. Die obere Fläche wurde noch mit dem Messer geglättet. Dann erfolgte die photographische Aufnahme. — Nebenbei ist zu erwähnen, daß vorher vorgenommene Versuche, die Querschnittsformen mit dem Perigraphen zu zeichnen, wegen der Kleinheit der Querschnitte zu große Ungenauigkeiten ergaben.

Leider haben die früheren Untersucher manchmal keine genauen Angaben über die Lage des abgebildeten Querschnittes gemacht oder auch die Lage nach schwer nachprüfbaren und vergleichbaren Merkmalen bestimmt, so daß ein Vergleich nicht gut durchzuführen ist. Eine Ausnahme bildet die Mitte der Länge (von Sprecher nicht ganz genau „Schaftmitte" genannt). Maragoni z. B. hält sich nicht genau an die Mitte, sondern gibt Querschnitte von charakteristischen Stellen ungefähr in halber Höhe des Knochens.

Der Einwand E. Fischers gegen die Benutzung der Knochenmitte betrifft die Feststellung des Dicken-Längen-Verhältnisses, zielt also auf etwas anderes ab, als von mir erstrebt wurde. Fischer wünscht die Verschiedenheiten der Form (Crista interossea, Muskel-Bezirke) auszuschalten, um die Dicke vergleichen zu können. Ich will dagegen gerade die Form selbst vergleichen.

Das Ergebnis dieser Untersuchungsart ist so bunt, daß es nicht mehr möglich ist, ohne Zwang die am ganzen Wadenbein gefundenen 4 Typen herauszufinden. Sogar an der rechten und linken Körperseite desselben Menschen sind die Unterschiede der Querschnittsbilder groß. Die von anderen Verfassern beschriebenen Formen lassen sich in meinem Material zum großen Teil wiederfinden.

Von den von anderen Untersuchern angegebenen Formen fanden sich am häufigsten drei- und vierseitige, davon waren einige stark unregelmäßig, nicht selten sind Übergänge zwischen beiden Formen;

wenig dreikantige, nur zwei runde Querschnitte. Die T-förmigen konnte ich nur angedeutet in kleiner Zahl finden, dagegen keine V-förmigen[1]), keine messerartigen, auch WRIGHTS "coultered" Fibula ist nicht vorhanden. Eine feste Einordnung läßt sich nicht bei allen Querschnitten erreichen. Im Gegenteil kommen oft Kombi-

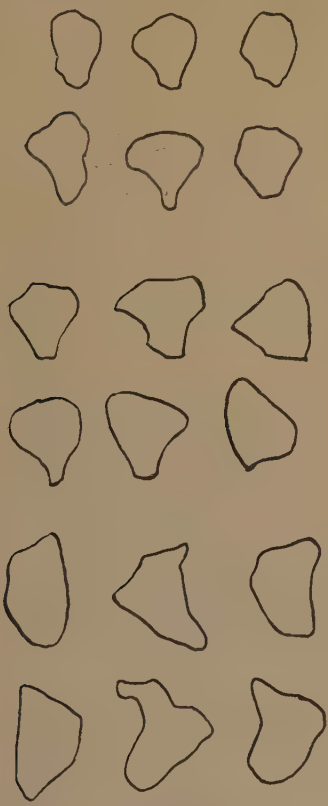


Abb. 5 a.

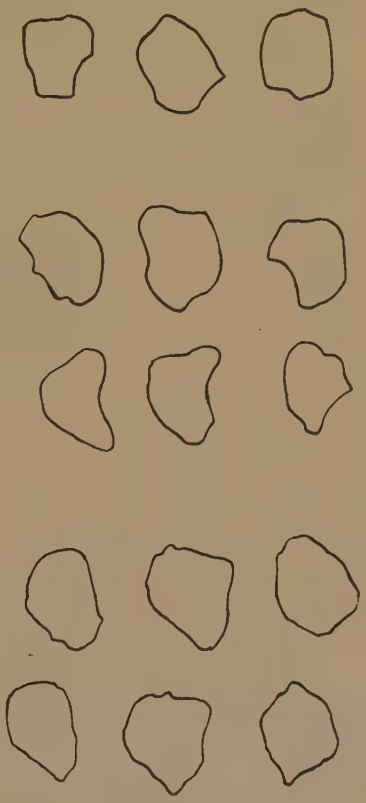


Abb. 5 b.

Abb. 5, a—e. Querschnittsbilder von erwachsenen Wadenbeinen in Beispielen. 5 a) dreiseitige Formen, 5 b) vierseitige Formen, 5 c) Andeutung einer T-Form, 5 d) rundliche Formen, 5 e) fünfseitige Formen. Der am weitesten nach unten gelegene Punkt jedes Querschnittes bezeichnet die Crista anterior. Innerhalb der Dreiergruppen folgen von links nach rechts: oberes Drittel, Mitte, unteres Drittel.

nationen der einzelnen Formen vor, z. B. dreiseitig rundlich oder abgeflacht, oval u. ä. Zwei Fälle einer fünfseitigen Form kamen zur Beobachtung, ungefähr zehn Exemplare sind gar nicht einzuordnen.

1) In Abschnitt V wird eine hier nicht verwertete Fibula von V-Form beschrieben.

(Abb. 5a—e geben Beispiele dieser Formen und zeigen gleichzeitig die Schwierigkeit der Einordnung selbst bei ausgesuchten Fällen).

Eine bemerkenswerte Feststellung ergibt ein Vergleich mit dem japanischen Material Miyamotos. Unter den 30 männlichen und 20 weiblichen Fällen, von denen er Querschnittsbilder durch die Fibulamitte mitteilt, kommen so stark modellierte Formen, wie sie

Abb. 5c.

Abb. 5d.

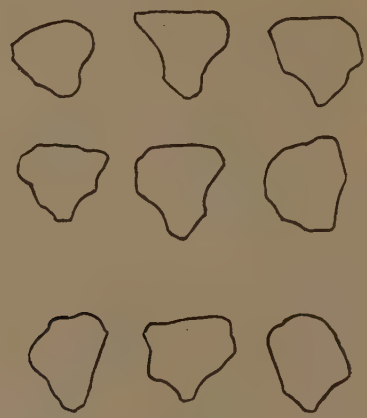


Abb. 5e.

bei den Europäern nicht selten sind, überhaupt nicht vor! Nach seiner Einteilung ist die ungleichseitig viereckige Form bei beiden Geschlechtern am häufigsten vertreten. Als extremste, schon seltene Form tritt eine nach den Abbildungen sehr „zahme" T-Form auf. Darüber hinaus geht es nicht. Denn die vom Verf. sogenannte unregelmäßige Form ist sehr gemäßigt. In dem ganzen Untersuchungsmaterial Miyamotos ist die laterale Fläche bald plan, bald leicht

gewölbt, bald konkav. Nach diesem allen scheinen also Rassenunterschiede in der Gestalt des Wadenbeins vorzukommen. Diese Bemerkung will ich aber nur nebenbei machen, ohne ihr weiter nachzugehen. Eine Auswertung der anthropologischen Literatur ist wie gesagt nicht beabsichtigt.

Die Untersuchung (Abschn. II und III) hat also ergeben, daß im Laufe des individuellen Lebens das Wadenbein charakteristische Hauptmerkmale entwickelt: eine starke Variabilität der Oberflächengestalt und eine häufige, aber durchaus nicht konstante Kantigkeit, verbunden mit einer Kanellierung der Flächen, die den Eindruck der Kantigkeit unterstützt.

IV.

Wenn für die Modellierung der Außenform der Fibula als hauptsächlicher und augenfälliger Faktor die Muskulatur in ihrer Wirkung angesehen wird, so ist es wohl wissenswert, etwas über die näheren Beziehungen zwischen Muskel und Knochen zu erfahren, insbesondere über die Verhältnisse bei der Fibula.

Es kam mir darauf an, eine sinnfällige Vorstellung und Übersicht über die Art der Muskelanheftung, über die Festigkeit und Art des Ansatzes der Septa intermuscularia (gemeint ist das Septum anterius zwischen M. peron. long. und M. extensor digit. long. und das Septum posterius zwischen den Mm. peronaei und dem M. flex. hall. long.) und der Membrana interossea zu gewinnen und sie mit der Knochenform in Beziehung zu setzen.

Dabei ging ich so vor, daß ich an 37 Muskelpräparaten von Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß ohne Instrument die cruralen Muskeln vom Knochen abzuziehen versuchte. Ich fand 3 Grade der Lösbarkeit: 1. Der Muskel ist fest mit dem Periost verbunden, läßt sich aber mit diesem leicht und vollkommen glatt vom Knochen abziehen. 2. Der Muskel sitzt fest am Periost und dieses ist wiederum innig mit dem Knochen verbunden. 3. Der Muskel strahlt direkt, scheinbar ohne Vermittlung des Periosts in den Knochen ein.

Überraschenderweise konnte ich auch nicht bei einem einzigen Muskel eine konstante Art des Ursprungs finden. Eine relative Ausnahme macht nur der M. extens. digit. long. Er weist vielleicht eine gewisse Unveränderlichkeit auf, indem er fast nie einstrahlt, sondern sich in den allermeisten Fällen glatt, wenn auch verschieden leicht, vom Knochen löst, an den er stets durch Vermittlung des Periostes angeheftet ist.

Bei einigen Exemplaren bemerkte ich ein unlösbares Ineinandergreifen der Ursprungssehnen der Mm. flex. hall. long und tib. post. Die Ursprungssehne ist dann lang und geht schräg vom Knochen ab, in dem sie fest verankert ist.

Auch die Septa intermuscularia sowie die Membrana interossea lassen kaum eine konstante Anheftungsart erkennen. Entweder sitzen sie breitbasig auf stumpfen Kanten auf, hierbei alle Grade der Lösbarkeit zeigend, oder sie sind an scharfen Kanten, dann meist ziemlich schwer abziehbar, befestigt Auch hier gibt es von der Unbestimmtheit eine relative Ausnahme: Das von der Crista lateralis ausgehende Septum post. ist an den oberen zwei Dritteln des Knochens (unabhängig von der Kantenschärfe) meistens dünn und leicht lösbar, während es im unteren Drittel viel kräftiger und nach meiner Methode unlösbar ist.

In einigen Fällen beobachtete ich im oberen Abschnitt der Fibula einen Zusammenhang der Membrana interossea mit dem Septum anterius. Es lagen dann auch die beiden zugehörigen Leisten dicht nebeneinander oder waren sogar miteinander zu einer Leiste verschmolzen.

Um in die Mannigfaltigkeit der Einzelbefunde eine Ordnung zu bringen, prüfte ich sie in Form folgender 5 Fragen:

1. Wie verhält sich die Knochenform zum Volumen der Muskeln?
2. Wie verhalten sich die grobe Knochenform (Kanten, Einkerbung usf.) und die Muskelanheftung zueinander?
3. Wie verhalten sich die Knochenkanten und die Anheftung der bindegewebigen Häute zueinander?
4. Wie verhalten sich das feinere Knochenrelief (Rauhigkeiten, Kämme u. ä.) und die Muskelanheftung zueinander?
5. Wie weit gleichen sich das rechte und das linke Präparat bei demselben Individuum?

Zur Beantwortung dieser Fragen fertigte ich mir nach einem die Art und Ausbildung der einzelnen Muskeln, Membranen und Knochen genau beschreibenden Protokoll schematische Zeichnungen in Form von Querschnittsbildern an, die die Verhältnisse im oberen Drittel, in der Mitte und im unteren Drittel der Diaphyse wiedergeben.

Ad 1. Knochenform und Muskelvolumen. Als „normal" wäre anzusehen, wenn entweder Muskeln und Knochen ein Durchschnittsmaß haben (a), oder auch, wenn die Muskulatur kräftig und der Knochen entsprechend stark modelliert ist (b), bzw. geringe Model-

lierung bei schwacher Muskulatur (c). In anderen Fällen kann die Übereinstimmung zwischen Muskelstärke und Knochenrelief fehlen, indem entweder die Muskeln voluminös sind bei rundlichem Knochen (d) oder die Muskeln schwach ausgebildet sind bei stark modellierten Knochen (e). Ergebnis: a:b:c:d:e = 22:4:0:4:7. Nach dem angenommenen Normaltyp, der bei weitem überwiegt, haben die bei dünner Muskulatur stark modellierten Knochen die meisten Vertreter.

Ad 2. Grobe Knochenkontur und Muskelanheftung. 4 Möglichkeiten ergeben sich: „normal" wäre einmal ein fest mit dem Knochen verbundener Muskel (gleichgültig ob unmittelbar oder über das Periost) und entsprechend kräftige Knochenkanten (a) oder in beiden das Umgekehrte (b). Es ergeben sich dann von selbst die beiden anderen Möglichkeiten, entweder ein einstrahlender Muskel und ein abgerundeter Knochen (c) oder glatt abziehbare Muskulatur und dabei ein stark ausmodellierter Knochen (d). Ergebnis: a:b:c:d = 4:14:8:11. Im ganzen überwiegt, wenn auch nicht so deutlich, der Normaltyp b. Beinahe ebenso häufig scheint ein ausmodellierter Knochen bei geringer Einstrahlung, bzw. glatter Abziehbarkeit zu sein. In demselben Abstand folgt die Anzahl der abgerundeten Knochen bei einstrahlender Muskulatur. Am wenigsten fand ich Normaltyp a.

Ad 3. Kantenausbildung und Ansatz der bindegewebigen Häute: Nach der Einteilung der vorhergehenden Befunde müßte hier als normal angesehen werden: Entweder Kanten scharf und fest sitzende Septa (a) bzw. abgerundete Leisten und leicht ablösbare Häute (b), oder bei je einem Merkmal das Umgekehrte (c u. d). Diese Gruppierung ließ sich so nicht durchführen, es erwies sich vielmehr als typisch, weil am häufigsten vorkommend, folgendes Bild: Sept. anter. festsitzend, Sept. post. nur im unteren Drittel festsitzend, Membrana interossea festsitzend, doch distal etwas loser; dabei die Kanten wenig scharf und wenig hervorspringend, aber auch nicht vollkommen abgerundet (a). Zwei Ausnahmearten konnte ich feststellen: festsitzende Septa bei sehr scharfen oder breiten Kanten (b) und bei derselben Kantenbeschaffenheit dünne lose sitzende Bindegewebehäute (c). Ergebnis: a:b:c = 20:4:15. Hierbei sind zwei Fälle, die teilweise zu b bzw. c gehören, mit zu a gerechnet. Bemerkenswert ist also, daß sich so selten feste Anheftung der Membranen und Schärfe der Knochenkanten vereinigt, daß vielmehr so oft dünne und leicht abziehbare Membranen an kräftigen, breiten oder scharfen Kanten sitzen. Als Beispiel diene ein Fall mit ganz rauher breiter Kante, sogar

etwas vorspringend, und selbst im distalen Drittel (s. o.) ein hauchdünnes, leicht abziehbares Sept. posterius.

Ad 4. Flächenausbildung des Wadenbeins und Muskulatur. Es ist hier die Art der Muskelanheftung und die Reliefbildung auf den Knochenflächen gemeint. Entweder sind die Flächen glatt und die Muskeln lassen sich mehr oder weniger gut abziehen, jedenfalls aber fehlt eine Einstrahlung (a). Dann kommen Fälle vor mit Leistenbildung, Rauhigkeiten an den Knochenflächen usw., denen auch eine einstrahlende Muskulatur entspricht (b); ebensolche Reliefbildung bei glatt ablösbaren Muskeln (c) und schließlich Einstrahlung bei Fehlen eines solchen Knochenreliefs (d). Ergebnis: a:b:c:d = 18:2:11:11. Auch das ist wieder ein überraschender Befund. In dem ganzen Untersuchungsmaterial findet sich eigentlich nur ein klarer Fall mit Reliefbildung an den Knochenflächen und zugleich fest am Knochen angehefteter Muskulatur. Der andere Fall dieser Gruppe b neigt im unteren Teil schon mehr zu c. Bei 4 Präparaten fanden sich Merkmale von c und d zusammen.

Ad 5. Vergleich zwischen rechtem und linken Präparat desselben Individuums. 7 Fälle. Entweder sind beide Knochen und Muskelverhältnisse im großen und ganzen gleich (a), oder die Knochen sind in der Ausbildung der Kanten und Flächen ungleich (b), oder die Art der Muskelanheftung ist ungleich. Ergebnis: a:b:c = 2:4:5. (11 Möglichkeiten bei 7 Fällen, weil 4 Paare zu b und c gemeinsam gehören, also an Knochenoberfläche und an Muskelanheftung ungleich sind.) Es sind somit selbst die beiden Seiten desselben Körpers in den untersuchten Eigenschaften häufiger ungleich als gleich. Erwähnenswert ist, daß ich bei den beiden Feten (s. II) ziemlich feste Anheftung der Muskeln am Wadenbein fand.

Die hier angewandte Untersuchungsart hat den Nachteil großer Subjektivität. Zum Teil wird das dadurch ausgeglichen, daß die Feststellungen von demselben Untersucher in wenigen Tagen ausgeführt wurden. Außerdem haben solche Untersuchungen größere Anschaulichkeit als genaue Maße, die für unsere Fragen auch kaum zu gewinnen wären, und eignen sich deshalb besser zur ersten Orientierung. Diese erste Orientierung führt jedenfalls zu einem Ergebnis, das sich so formulieren läßt: in der Frage, ob eine ausgeprägte Modellierung der Knochenoberfläche durch Druckwirkung der anliegenden Muskeln und durch Platzfragen oder andererseits durch Zugwirkung der Sehnen, Zwischenknochenhäute und überhaupt des Bindegewebs-

gerüstes in erster Linie zustande kommt, sprechen meine Befunde für das erste. Zwischen Muskelvolumen und Knochenmodellierung ist eine Beziehung erkennbar, während eine solche zwischen dem Bindegewebsgerüst und der Knochenmodellierung durch die Beobachtung häufiger verneint als bejaht wird.

V.

Die Beziehungen zwischen Knochen und Muskelvolumen lassen sich auch durch mikroskopische Untersuchung nachprüfen. Ich machte von einem erwachsenen Wadenbein mit gut modellierter Oberfläche, an dem die schwer abziehbaren Muskeln und Häute z. T. belassen waren, nach Entkalkung und Celloidineinbettung Querschnitte durch das obere Drittel, die Mitte und das untere Drittel. Zunächst untersuchte ich ungefärbte Querschnitte in polarisiertem Licht. Das Ergebnis war eine fast durchweg scharfe Begrenzung zwischen Knochen und Periost. Nur hin und wieder wird diese Trennung von einzelnen Fasern oder Faserbündeln durchbrochen, die unregelmäßig gelegen und nicht an die Seite des Knochens gebunden sind, der noch die schwer abziehbare Muskulatur anhaftet. Auch an gefärbten Schnitten (Haematox.-Eosin) ließ sich keine deutlichere Einstrahlung sehen. In gleicher Weise wurden 4 kindliche Wadenbeine (Alter: 7—13 Monate) untersucht. Leider erwiesen sie sich bis auf eins als pathologisch. Dieses eine normale bestätigte das Gesagte.

Nach diesen Befunden kann ich also Petersen darin beistimmen, daß im allgemeinen die Muskeln nicht direkt in den Knochen einstrahlen, sondern sich an das Periost anheften, das seinerseits mit dem Knochen verbunden ist.

Deutliche Einstrahlung in den Knochen fehlt also. Dagegen lassen sich, besonders bei Erwachsenen, weniger beim Kind, nur mikroskopisch erkennbare Rauhigkeiten nachweisen, vor allem an den Stellen, an denen die Muskeln sich schwerer ablösen. Vielleicht ist das ein Ausdruck der stärkeren Befestigung des Muskels bzw. des Periosts am Knochen.

Als Ergänzung zu der mikroskopischen Untersuchung fertigte ich Spaltlinienpräparate von zwei Wadenbeinen an.

Es ist durch Benninghof (1925) bekannt, daß die Spaltlinien an Röhrenknochen im allgemeinen in der Längsrichtung verlaufen. „An einigen Stellen finden sich geringe Abweichungen vom Längsverlauf. So konvergieren die Linien an der vorderen Tibiakante ein

wenig auf die letztere hin, so daß sie nach proximal offene spitze Winkel bilden. Ähnliches findet sich am Humerus."

Ich benutzte für die Spaltlinienuntersuchung eine Fibula, die nichts Ungewöhnliches zeigte und eine andere, die durch eine außerordentlich tiefe Einbuchtung der lateralen Fläche auffiel. Die Kanten, besonders die Crista anter. und lateral. besitzen in diesem Fall eine schneidende Schärfe und ragen weit hervor. Die Einkerbung erstreckt sich weit von proximal nach distal. Der Schaft bildet auf dem Querschnitt einen Winkel, der kleiner als ein rechter ist (s. Abb. 6). In den früheren Erörterungen ist dieser Fall nicht mit verwertet.

Es schien mir wissenswert, ob in diesem Fall Anzeichen dafür beständen, daß die Bildung der ungewöhnlich ausgeprägten Knochenkämme von einer übernormalen Zugwirkung der dort ansetzenden Sehnen und Häute herrührt. Solche Anzeichen fanden sich nicht. Die Spaltlinien weichen kaum vom Längsverlauf ab. Nur im oberen Drittel laufen sie im Bereich der Crista medialis leicht bogenförmig auf diese Kante zu. Da die Septa intermuscularia bei der Verdickung der sich kontrahierenden Muskeln quer zur Fibula angespannt werden, so würde eine ungewöhnlich große Ablenkung der Spaltlinien auf die Kante zu für die Mitwirkung solcher Anspannung bei der Kantenbildung gesprochen haben.

Abb. 6. Querschnitt durch die Mitte des in Abschnitt V beschriebenen besonderen Falles. (Der Querschnitt wurde hier aus technischen Gründen nicht mit der Wachsmethode, sondern mittels Zirkelmaßen gewonnen.) Grundfigur gestrichelt.

Ebensowenig war in diesem Fall die Muskulatur dicker als gewöhnlich oder fester als sonst am Knochen befestigt. Das Periost ließ sich im oberen Teile leicht, im unteren etwas schwerer abziehen. Außer der Membrana interossea, die fest an ihrer Crista saß, waren die beiden anderen Septa ohne besondere Anstrengung zu lösen.

Es ist also als Ergebnis von Abschnitt IV und V gewonnen:

1. daß die Knochenkämme wahrscheinlich mehr durch Druckwirkung und Platzfragen der Nachbarschaft, als durch lokalen Zug entstehen.

2. daß die Reaktion auf diese Einflüsse der Nachbarschaft individuell sehr verschieden sein muß.

VI.

An der menschlichen Fibula fällt die variable und oft starke Modellierung der Oberfläche deshalb besonders in die Augen, weil das Dickenwachstum dieses Skeletteils mit der Entwicklung der Oberfläche nicht gleichen Schritt hält. Der erwachsene Knochen ist ausgesprochen dünn.

Vergleicht man den Diaphysenumfang von Tibia und Fibula in der Mitte der Länge des Gesamtknochens bei Erwachsenen, Kindern und Feten, wie ich es in mehreren Stichproben getan habe, so findet man bei letzteren eine Verhältniszahl von ungefähr 1,7, bei den kindlichen Knochen nur Werte bis 1,4, dagegen bei Erwachsenen 2,2. (Dabei habe ich, um Fälschungen durch die Kanten zu vermeiden, rundliche Exemplare für die Messung gewählt.) In der Fetalzeit ist also das Dickenwachstum nicht so gehemmt, wie nach der Geburt, da der Größenunterschied beim jungen Kinde zwischen Tibia- und Fibulaumfang sein Minimum zu haben scheint; der Diaphysenumfang bleibt von da ab allmählich weit hinter dem des Schienbeins zurück.

Nehmen wir dieses Kleinbleiben des Wadenbein-Umfanges als gegeben an, so läßt sich von da aus verstehen, daß für die zahlreichen und starken Muskeln, die von der Fibula entspringen, die zur Verfügung stehenden Knochenflächen nicht ausreichen. (Grunewald hat darauf hingewiesen, daß die meisten Unterschenkelmuskeln sich um die Fibula, nicht um die Tibia herum gruppieren, und viele dieser Muskeln an der Fibula ihre Anheftung finden.) Es bestehen dann ähnliche Bedingungen für die Entstehung von Knochenkämmen, wie am Schädel vieler Tiere oder am Brustbein der meisten Vögel.

An eine kleine Grundform werden die Knochenleisten außen angebaut. Die Kleinheit der Grundform selbst wird jedenfalls auch irgendwie mit der Funktion zusammenhängen. Die Schlankheit besteht, wie anfangs gesagt, nicht im Vergleich zu dem Wadenbein anderer Säugetiere, sondern im Vergleich zu den anderen Röhrenknochen des Menschen.

Es ist deshalb zu vermuten, daß zwar nicht „die Funktion", aber doch „eine Funktion" des Wadenbeins geringer ist, als bei den anderen großen Röhrenknochen des Menschen. Nach Weidenreich ist das die „allgemeine Funktion": „Die Grundform richtet sich nach der allgemeinen Funktion und paßt sich ihr in ihrer Prägung an ... Irgendwelche durch mechanische Aufgaben bedingte Oberflächenvergrößerungen erscheinen nur unter dem Bilde von An- und Zu-

bauten, die die Grundform in ihrer Außenerscheinung alterieren können, aber ihren Kern nicht berühren." (Weidenreich).

Die allgemeine Funktion, die den langen Röhrenknochen gemeinsam ist, ist ihre mechanische Aufgabe. Sie besteht bekanntlich nicht nur darin, dem Gewicht des ruhenden Körpers, sondern auch der lebendigen Kraft des bewegten Körpers und dem Zug der Muskeln Widerstand zu bieten. Die langen Röhrenknochen werden durch diese Kräfte auf Festigkeit beansprucht: Druck-, Zug- und Torsionsfestigkeit, Biegungs- und Strebfestigkeit.

Grunewald wendet sich in seiner Veröffentlichung ausführlich gegen die Auffassung von einer geringen Funktion der Fibula, indem er ihr eine wichtige Rolle als Teil des Tibio-Fibular-Gewölbes zuschreibt. Schon durch die fast horizontale Lage des oberen Tibiofibulagelenkes ergebe sich, daß die Fibula auch zur Aufnahme des Gewichtsbelastungsdruckes, überhaupt zur Aufnahme längsgerichteter Beanspruchungen geeignet sei. Sie ist der zwar schwächere, aber durch die Zwischenknochenhaut unterstützte Pfeiler des Gewölbebogens, der seiner Lage nach den Biegungsbeanspruchungen in sagittaler und besonders in frontaler Richtung Widerstand leistet. Für ihre Wichtigkeit in dem Gewölbe spreche auch die Beziehung zu zahlreichen Muskeln (die in anderem Zusammenhang schon erwähnt sind). „Die Fibula ist eine Verstrebung gegen frontale Beanspruchung in ähnlicher Weise, wie der Tibiasporn und das Femurpilaster die Knochen gegen sagittale Ausbiegungen schützen. Die Fibula ist aber günstiger angeordnet als diese, welche den Krümmungen der ausbiegenden Knochen folgen. Sie ist mit der Tibia nicht mit ihrer ganzen Länge, sondern nur oben und unten verbunden und wirkt in ihrer geradlinigen Richtung gleich einem Strebepfeiler an einem gekrümmten Balken." Damit erkläre es sich, daß an der Tibia die mediale Wand der Markhöhle verstärkt ist. Nach der Form des isolierten Schienbeins müßte im Gegenteil eine Verstärkung der lateralen Wand erwartet werden, doch im Zusammenhang beider Unterschenkelknochen trete dafür das Wadenbein ein.

Ich stimme mit Grunewald darin überein, daß die Fibula nicht bedeutungslos ist, und daß sie als Muskelursprungs-Balken wichtig ist, (oder als verstärkter Rahmen bei dem Prinzip des Rahmenbaues nach Weidenreich). Über die von Grunewald so betonte Bedeutung dieses Skeletteils als lateralen Stützpfeilers des Tibiofibular-Gewölbes bin ich dagegen anderer Meinung. Ich lehne eine solche Bedeutung

nicht ab, aber ich bin der Ansicht, daß der Pfeiler nicht reine Stützfunktion hat, sondern daß diese Aufgabe in wichtiger Weise ergänzt und abgeändert ist durch die Funktion der Federung.

Bei der Aufwärtsbewegung des Fußes, also beim Übergang der lockeren Bewegungsstellung in die festere Standstellung werden die beiden Unterschenkelknochen etwas auseinandergedrängt, — nach R. Fick um 2—3 mm, den Breitenunterschied zwischen dem vorderen Rand der Talusrolle und dem vorderen Rand der Tibiapfanne. Es findet dabei aber nicht Federung der dünnen Fibula um das Hypomochlion der Syndesmosis tibiofibularis statt, so daß der mittlere Teil des Fibulaschaftes nach medial rückt, wie man zunächst denken könnte, sondern es treten gleichzeitige Zugwirkungen der Fußgelenkbänder auf den lateralen Knöchel hinzu, wie ebenfalls von R. Fick dargelegt ist, die das Bild verwickelt machen.

Ein Federungsapparat am Unterschenkel des Menschen macht auch dem funktionellen Verständnis keine Schwierigkeiten. Er ist als Hilfsapparat des federnden Menschenfußes anzusehen. Es ist allgemein anerkannt, daß die Gabel des Schien- und Wadenbeins die Sprungbeinrolle in bestimmten Stellungen federnd umfaßt. Ebenso ist es anerkannt, daß bei Verkantungen des Fußes besonders im Sinne der Supination eine Beanspruchung der Fibula auf federnde Biegung erfolgt.

Die Mitbewegungen des Wadenbeinschaftes bei Bewegungen des Fußes prüfte ich an einem Präparat des Unterschenkels und Fußes bei Erhaltung aller Bänder und Gelenke. Das Schienbein wurde in umgekehrter Haltung, das distale Ende nach oben gekehrt, eingeklemmt. Dabei stellte sich der Fuß, seiner Schwere folgend, ungefähr senkrecht zur Längsrichtung des Unterschenkels ein. In dieser Ausgangsstellung wurden 4 Abstände an der gegenseitigen Entfernung kleiner Nägel gemessen, die in die Hinterseite (Beugeseite) der beiden Unterschenkelknochen in gleichen Höhen eingeschlagen waren Die Methode soll also, wie man sieht, nicht zur Bestimmung absoluter Entfernungen, sondern der bei Bewegungen auftretenden Entfernungsunterschiede dienen. Die Abstände sind folgende: die Entfernung 1. der unteren Knochenenden, 2. in Höhe des Lig. tibiofibulare transversum, 3. in der Gegend der Diaphysenmitte, 4. dicht am oberen Ende.

Nun belastete ich den Fuß mit einem ungefähr 2,5 kg schweren Gewicht und erzielte damit eine Bewegung, die ungefähr der normalen

stärksten Dorsalflexion entspricht Das Ergebnis war eine Vergrößerung des tibiofibularen Abstandes an allen 4 Meßpunktpaaren. (Zahlen will ich nicht geben, da es sich nur um einen vorläufigen Versuch handelt. Ich verweise auf den unten erwähnten Röntgenbefund.)

Daß es sich tatsächlich hier nicht nur um die Ausbiegung eines Hebels handelt, ist unmittelbar zu sehen, indem sich die Fibula

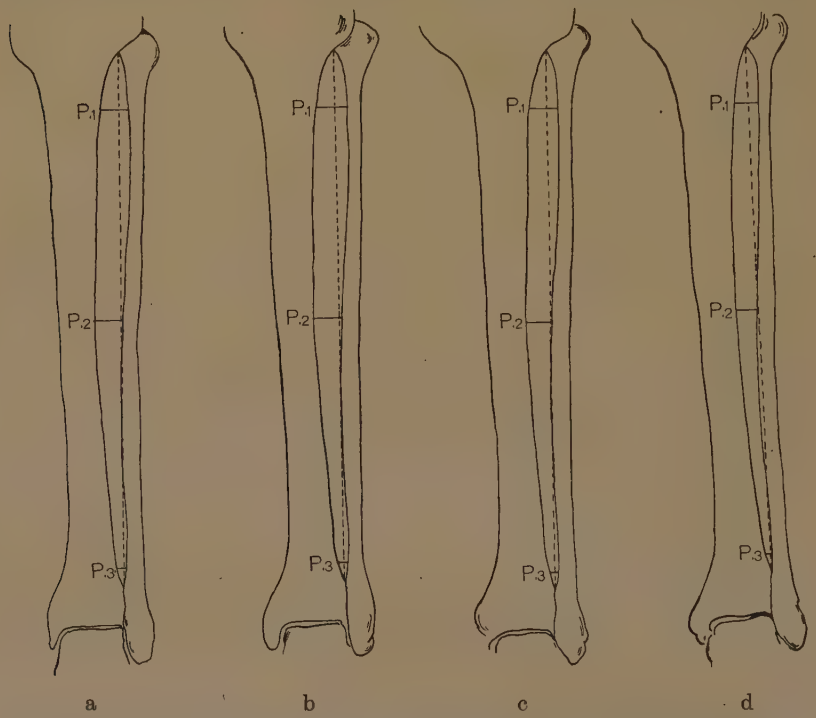


Abb. 7, a—d. Röntgenpausen der Unterschenkelknochen in verschiedenen Bewegungsphasen (weibl., 23 Jahre). 7a) zwanglose Ausgangsstellung, 7b) Dorsalflexion, 7c) Plantarflexion, 7d) Valgusstellung des Fußes. Punkt 1: 3 cm vom oberen Schnittpunkt der Tibia mit der Fibula. Punkt 2: Mitte der Verbindungslinie zwischen oberem und unterem Schnittpunkt. Punkt 3: 1 cm vom unteren Schnittpunkt.

während des Versuches gegen die Tibia nach distal verschiebt. (Es braucht nicht betont zu werden, daß ich mir die eben erwähnte Entfernungszunahme der beiden Unterschenkelknochen nicht etwa lediglich durch diese Verschiebung vortäuschen ließ.)

Die Gesamtbewegung scheint so vor sich zu gehen: Es vereinigt sich eine Auswärtsdrängung des unteren Wadenbeinendes mit einem

Zug des tarsofibularen Bandapparates auf das untere Fibulaende. Dadurch wird der Schaft des Wadenbeins, der in einer zwanglosen Ausgangsstellung etwas nach medial konvex gebogen ist (wobei die Membrana interossea schlaff ist), gestreckt. Seine Mitte bewegt sich also etwas nach lateral. Bei dem Bewegungsversuch beim jungen Kinde ist die Verschiebung nach proximal und distal viel deutlicher als beim Erwachsenen. Die Membrana interossea wird dabei in ihren verschiedenen Faserkomponenten abwechselnd straff und schlaff. Bei der Plantarbewegung findet umgekehrt eine Verkleinerung der Abstände statt.

Röntgenaufnahmen, die ich Herrn Priv.-Doz. Dr. Reischauer von der Chirurgischen Klinik verdanke, bei Plantar- und Dorsalflexion am Lebenden (weiblich, 23 Jahre) bestätigen, daß in dorsalflektierter Stellung die Abstände weiter sind als in der Ausgangsstellung (Abb. 7).

Punkt	Ausgangsstellung	Dorsalflexion	Differenz	Plantarflexion	Differenz	Valgusstellung	Differenz
1. 3 cm von oben	14,6 mm	16,5 mm	+ 1,9	15,1 mm	+ 0,5	12,3	— 2,3
2. Mitte ...	14,9 „	15,0 „	+ 0,1	14,0 „	— 0,9	11,0	— 3,9
3. 1 cm von unten	5,0 „	5,5 „	+ 0,5	4,9 „	— 0,1	4,2	— 0,8
Verbindungslinie	28,2 cm	28,0 „	—	28,5 „	—	27,6	—

Bei der Valgusstellung, bei der der laterale Knöchel nach lateral gedrängt wird, wird die Diaphysenmitte der Fibula ziemlich stark nach innen gebogen (Abb. 7d und Tabelle).

Aus den mitgeteilten Versuchen ergibt sich das Eine mit völliger Sicherheit: Die Fibula biegt sich schon bei den gewöhnlichen Fußbewegungen.

Das widerspricht nicht der Auffassung Grunewalds von der Funktion dieses Skeletteils als Stützpfeiler. Aber es paßt nicht in das Bild eines reinen Stützpfeilers. Es spricht vielmehr dafür, daß die Fibula noch eine andere Funktion versieht.

Da dieser dünne Knochen bei den Fußbewegungen sich biegt, da diese Biegung bei der Gegenbewegung rückläufig wird, so ist es wahrscheinlich, daß diese Bewegungen unter Speicherung und Auslösung

von Formänderungsarbeit vor sich gehen, daß es sich also um Federung handelt.

R. Fick spricht bei der Behandlung der Mechanik der distalen Schienbein-Wadenbein-Verbindung davon, daß das Wadenbein „nicht ein starrer Stab ist, sondern federnde Biegsamkeit besitzt."

Auch ist es nicht überflüssig, festzustellen, daß diese wichtige Funktion des Wadenbeins sich im Bau des ganzen Skeletteils ausprägt, zumal da zu beobachten ist, daß auch in Veröffentlichungen, die sich mit dem Fragenkomplex des menschlichen Fußes oder mit der Einwirkung der aufrechten Haltung auf den Bau des menschlichen Skelettsystems befassen, die Besonderheiten des menschlichen Schienbeins, Oberschenkelbeins und Beckens eingehend behandelt werden, dagegen die des Wadenbeins kaum erwähnt werden.

Mit der Auffassung, daß die Fibula funktionell eng an die Fußgelenke anzuschließen ist, stehen mehrere ihrer Besonderheiten gut im Einklang: Die distale Tibiofibularverbindung ist besonders fest, die Epiphysenverschmelzung ist hier nicht so verzögert wie proximal.

Die Fibula hat daher eine Sonderstellung unter den langen Röhrenknochen. So wie Petersen unter den Geweben widerstehende und nachgebende unterscheidet, könnte man die Fibula als nachgebenden den widerstehenden Knochen gegenüberstellen. Das wäre allerdings eine Übertreibung, da auch die Fibula das Widerstehen als Teilfunktion ausübt. Es würde aber doch gerade durch die Übertreibung der Unterschied gegen die anderen langen Röhrenknochen der Extremitäten gut hervorgehoben. Es gibt in der Tat im ganzen Skelettsystem des Menschen keinen der Fibula vergleichbaren Knochen. Auch die Rippen sind biegsam, aber die Biegung findet bei ihnen vor allem in den knorpeligen Abschnitten statt. Zungenbein und Griffelfortsatz sind federnd dünn, aber auf sie wirken abgesehen von ihrer Kleinheit nur geringe Biegungskräfte ein.

Grunewald betont, daß man durch Festigkeitsmessungen am isolierten Wadenbein kein richtiges Urteil über seine Leistungsfähigkeit gewinnen kann. Wenn auch die isolierte Fibula nach den von Triepel nach Messerer gegebenen Zahlen nur $^1/_{15}$ bis $^1/_{30}$ der Strebfestigkeit der Tibia besitze, so dürfe man daraus nicht schließen, daß sie auch in der gewölbeartigen Vereinigung mit der Tibia bedeutungslos sei. Ähnlich kann man nun die Federungsleistung des Wadenbeins nicht am mazerierten Skeletteil prüfen. Für diese

Funktion muß das Periost und möglichst auch die Membrana interossea mitberücksichtigt werden.

Zu der Sonderstellung der Fibula paßt ihre innere Struktur. Triepel bildet Längsschnitte ab. Das von ihm (Spongiosa-Atlas Abb. 48 u. 49) abgebildete Präparat, das sich in der Breslauer Anat. Anstalt befindet, konnte noch durch einen zweiten Längsschnitt ergänzt werden. Beide zeigen dasselbe. Die Kompakta ist dünn. In dieser Beziehung ist der von Triepel angefertigte Schnitt günstiger, er läßt erkennen, daß die Kompakta dünner als an den anderen langen Röhrenknochen der Extremitäten ist. Die Markhöhle ist also verhältnismäßig weit[1]). Außerdem tritt die Spongiosa sehr an Menge zurück. Nur am proximalen Ende von Radius und Ulna ist das unter den langen Röhrenknochen nach Abbildungen aus dem Triepel'schen Spongiosa-Atlas ähnlich. Dies Zurücktreten der schwammigen Knochensubstanz ist wichtig. Skelettstücke, deren Bau besonders darauf eingerichtet ist, starken Biegungseinflüssen einen kräftigen Widerstand entgegen zu setzen, haben viel Spongiosa und in ihr deutlich eine biegungs-trajektorielle Anordnung. Das klassische Beispiel dafür ist von Roux im Radius des Delphins aufgedeckt. Umgekehrt stimmt die geringe Spongiosa-Ausbildung in unserem Objekt zu der Beobachtung, daß die Fibula sich schon bei einfachen Bewegungen der Nachbarschaft ziemlich stark biegt. In der wenigen Spongiosa ist nicht viel an Biegungsstrukturen zu erkennen. Am distalen Knochenende können einige Knochenbalken, die von der Gelenkfläche am Knöchel und der Anlagerungsfläche für die Tibia ausstrahlen, als Biegungsbalken aufgefaßt werden. Sie verlaufen von dort aus teilweise nach proximal und lateral schräg auf die Kompakta der lateralen Seite zu und schließen sich ihr an. Dabei sind diese Züge

1) Die Angaben Mechaniks über die Umfänge der Fibula und ihrer Markhöhle in Abständen von 1 cm sind gewiß von Wert. Zur Feststellung der Verteilung der Kompaktadicke scheint mir jedoch ihr Wert nicht so unbezweifelbar, wie es nach der Darstellung M.'s aussieht. Wenn an einer Sägestelle der äußere Umfang des Querschnittes mehr von der Kreisform abweicht als der Umfang der Markhöhle, so gibt das schon falsche, nämlich zu große Werte für die Kompaktadicke (vgl. dazu M.'s Abb. 1, Schnitt 14). Zu den von M. angegebenen Indices „R" und „C" ist zu bemerken, daß sie beide dasselbe aussagen, da sie aus denselben Zahlen errechnet sind. Sie sind, von der Stellung des Kommas abgesehen, reziproke Größen. Daß sie in negativer Korrelation zueinander stehen, wie M. feststellt (und in früheren Veröffentlichungen über Femur, Humerus und Tibia jedesmal hervorhebt), ergibt sich daraus.

Heidsieck.

durch kürzere quer zu ihnen angeordnete Verbindungszüge zusammengehalten.

Von diesem Gesichtspunkt aus gewinnt nun auch die Schlankheit des Wadenbeins eine neue Beleuchtung. In einem früheren Abschnitt hatten wir den kleinen Querschnitt der Grundform einfach als gegeben angenommen. Wir sehen jetzt, daß diese Kleinheit des Grundquerschnitts keine Unvollkommenheit, kein Zeichen von Reduktion des Wadenbeins ist. Gewiß ist es nicht falsch, die Schlankheit als ein Zeichen dafür zu nehmen, daß das Wadenbein in seiner Aufgabe als Stützpfeiler hinter dem starken Schienbein zurücktritt. Darüber hinaus ist sie aber auch als positive Anpassung an eine andere Funktion, die der Federung, aufzufassen. So ist der Ausgangspunkt gewonnen, von dem aus die Entstehung der Knochenkämme zu verstehen ist, da dieser kleine Grundquerschnitt für den Ursprung der Muskeln und Häute nicht ausreicht. Die Knochenkämme und die angebauten Kanten haben einen funktionellen Vorteil gegenüber einer einfachen Querschnittsvergrößerung: Die Biegsamkeit wird nur nach bestimmten, nicht nach allen Seiten hin eingeschränkt.

Beim jungen Kinde scheint die funktionelle Situation noch anders zu sein. Der verhältnismäßig größere Umfang der Fibula spricht mehr für Stütz- und weniger für Federungsfunktion.

Andrerseits soll mit den obigen Ausführungen nicht gesagt sein, daß die Federungsfunktion der Fibula nicht auch bei anderen Säugetieren und anderen Wirbeltieren vorkommt. So hat Virchow schon 1926 bei den Vögeln überhaupt und neuerdings 1931 beim Pinguin einen Federungsmechanismus der Fibula beschrieben, der allerdings hier dem Kniegelenk, nicht dem Fußgelenk dient, und führt in diesem Zusammenhang auch (1926) die Fibula des Känguru als dünnen, langen, stark elastischen Knochen an.

Zusammenfassung.

Von der Fibula ist es bekannt, daß sie sich durch Schlankheit, Kantigkeit und Variabilität des Oberflächenreliefs vor den übrigen langen Röhrenknochen des Menschen auszeichnet. (Abschnitt I.)

An einigen fetalen und kindlichen Wadenbeinen wird die allmähliche Herausbildung der erwachsenen Form verfolgt. (Abschnitt II.) Dann wird die erwachsene Form am Material der Breslauer Anatomischen Anstalt untersucht. (Abschnitt III.) Auch in diesem Material tritt vor allem die starke Formverschiedenheit hervor, schon

bei der Betrachtung ganzer Wadenbeine, mehr noch bei der Untersuchung von Querschnitten. Die Querschnitte durch das proximale Drittel, die Mitte, und das distale Drittel ergeben ein so buntes Bild, daß es kaum möglich ist, eine Ordnung zu finden. Am häufigsten sind in meinem Material drei- und vierseitige Formen. Scharfe Kanten sind häufig, aber durchaus nicht konstant.

Um über die Beziehungen der Knochenform einerseits, der Anheftung der Muskeln und der bindegewebigen Häute am Knochen andrerseits eine Vorstellung zu gewinnen, wurden Abreißversuche der Muskeln und Häute gemacht (Abschnitt IV). Das Ergebnis dieser Versuche ist sehr verschieden, zeigt aber gerade durch diese Verschiedenheiten, daß sich keine deutliche Beziehung der Festigkeit der Anheftung zu der Ausprägung des Knochenreliefs finden läßt. Dagegen ist eine Beziehung zwischen der Dicke der Muskulatur und der Modellierung der Oberfläche des Knochens zu erkennen. Die Untersuchungen sprechen mehr dafür, daß der Knochen seine äußere Ausprägung durch den Druck der Umgebung und durch Platzfragen erhält, daß der Knochen also dem Druck ausweicht und in druckfreie Räume hineinwächst (und zwar dies in individuell sehr wechselndem Maße), als daß er durch lokale Zugwirkung der Muskeln und Häute zur stärkeren Apposition veranlaßt wird.

Eine Ergänzung erfuhren die Reißversuche durch mikroskopische Untersuchung von Querschnitten und durch Herstellung von Spaltlinien (Abschnitt V). Beide Verfahren bestätigen das Hauptergebnis der Reißversuche.

Die Besonderheiten der Außenform haben zur Voraussetzung ihrer Ausbildung die Dünnheit der Fibula (Mißverhältnis zwischen Fläche der Muskelursprünge und der Oberfläche des Knochens). Die Fibula bleibt nach der Geburt an Dickenwachstum weit zurück hinter der Tibia. Das Zurückbleiben im Dickenwachstum ist nicht ein Zeichen von rudimentärer Ausbildung, sondern es ist als Merkmal von positivem Wert zu betrachten. Die Fibula ist ein Federungsapparat, der funktionell als ein Hilfsapparat zu dem federnden Fußgewölbe gehört. Bei Bewegungen der Fußgelenke am Bänderapparat oder am Lebenden biegt sich das Wadenbein (Abschnitt VI). Es hat somit einen anderen Charakter als die übrigen Röhrenknochen. Ihrer Federungsaufgabe entspricht die Dünnheit ihrer Grundform. Auch ihre innere Architektur ist mit dieser Sonderaufgabe im Einklang.

Für die Anregung zu dieser Arbeit und die dabei gewährte vielfache liebenswürdige Unterstützung bin ich Herrn Dr. Heidsieck zu großem Dank verpflichtet, desgleichen Herrn Prof. Dr. von Eggeling für die Überlassung des Untersuchungsmaterials.

Erst nach Abschluß dieser Arbeit wurde mir die große Veröffentlichung von Sprecher (Sprecher, Heinrich, Morphologische Untersuchungen an der Fibula des Menschen unter besonderer Berücksichtigung anderer Primaten. Zürich, Diss. Phil. Orell Füssli 1932) bekannt, in der die Fibula gründlich nach anthropologischen Methoden untersucht wird und in der das anthropologische Schrifttum, soweit sich Angaben über das Wadenbein darin finden, zusammengestellt ist. S. 104—110 behandeln das Relief des Wadenbeins nach dem Rassenmaterial Sprechers.

Schrifttum.

1916 Aichel, O., Anat. Anz. Bd. 49.
1922 Aichel, Verhandl. d. Anat. Ges. Erg.-Heft Bd. 55.
1925 Benninghoff, Verhandl. d. Anat. Ges., Erg.-Heft Bd. 60.
1927 Benninghoff, Anat. Anz. Bd. 63.
1870 Busk, Journ. of Anthrop. Bd. 3.
1930 Dolgo-Saburoff, Bull. Inst. Lesshaft Bd. 16 (Ref. im Anat. Bericht 22).
1857 Fick, L., Über die Ursachen der Knochenform. Experim. Unters. Göttingen.
1911 Fick, R., Handbuch d. Anat. u. Mechanik d. Gelenke.
1906 Fischer, E., Zeitschr. f. Morphol. u. Anthrop. Bd. 9.
1925 Fuerst, Zeitschr. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. Bd. 76.
1926 Gegenbaur, Morphol. Jahrb. Bd. 25.
1916 Grunewald, Zeitschr. f. orthop. Chir. Bd. 67.
1929 Halonen, Acta Soc. Medic. Fennicae „Duodecim" Tom. XI.
1928 Heidsieck, Morphol. Jahrb. Bd. 59.
1920 Jores, Beitr. zur pathol. Anat. (Ziegler) Bd. 66.
1915 Koganei, Verhandl. d. Ges. Jap. Ärzte Bd. 35.
1927 Kotikowa, Bull. Inst. Lesshaft Bd. 13 (Ref. im Anat. Ber. 21).
1909 Krause, Das Skelett der oberen und unteren Extremität. Handb. d. Anat. (Bardeleben).
1882 Lesshaft, Virch. Arch. Bd. 87.
1865 Luschka, v. Die Anat. d. Glieder d. Menschen.
1907 Marangoni, Arch. p. l'Antrop. e la Etnol. Bd. 37.
1928 Martin, R., Lehrbuch d. Anthropol.
1932 Mechanik, N., Z. Anat. Entw.-Gesch. Bd. 97.
1880 Messerer, Über die Elastizität u. Festigkeit d. menschl. Knochen (zit. nach Triepel).
1925/26 Miyamoto, Acta schol. medic. Univers. imper. Kioto Bd. 8.
1919 Mollison, Sitz. d. Heidelberger Acad. d. Wiss. Mat.-nat. Kl. Abt. B.

1924 Petersen, Histologie und mikrosk. Anat. 3. Abschn.
1930 Petersen, Handbuch d. mikrosk. Anat. d. Menschen (v. W. v. Möllendorff Bd. 2, Tl. 2).
1895 Roux, Gesammelte Abhandl. Bd. 1, Nr. 10.
1932 Schubert, Anat. Anz. Bd. 73.
1929/30 Sprecher, Bull. d. Schweizer Ges. f. Anthrop. und Ethnol.
1917 Strasser, Lehrb. d. Muskel- und Gelenkmechanik (Bd. 3 untere Extrem.).
1902 Triepel, Einführung in d. Phys. Anat. Teil 2.
1922 Triepel, Spongiosa-Atlas.
1926 Virchow, H., Z. mikr.-anat. Forsch. 5.
1931 Virchow, H., Morphol. Jahrb. Bd. 67.
1918 Walmsley, Journ. of Anat. Bd. 52.
1922 Weidenreich, Verhandl. d. Anat. Ges., Erg.-Heft Bd. 55.
1922 Weidenreich, Verhandl. d. Anat. Ges. ,Erg.-Heft Bd. 55.
1922/23 Weidenreich, Archiv für Entwicklungsmechanik Bd. 51.
1924 Weidenreich, Zeitschr. f. Anat. und Entwickl.-Gesch. Bd. 72.
1905 Wright, Journ. of Anat. a. Physiol. Bd. 39.

Lebenslauf.

Ich, Brigitte Kühn, Tochter des Bankprokuristen i. R. Eberhard Kühn, wurde am 31. Juli 1909 in Breslau geboren. Daselbst besuchte ich ein städtisches Lyzeum und von Untertertia an eine Studienanstalt realgymnasialer Schulrichtung, an der ich Ostern 1928 die Reifeprüfung ablegte. Anschließend studierte ich Medizin in Breslau und Freiburg. Ende des Sommersemesters 1930 bestand ich in Breslau die ärztliche Vorprüfung. Die klinischen Semester absolvierte ich in Breslau und Kiel und beabsichtige nun, mich nach dem Sommersemester 1933 zur ärztlichen Staatsprüfung zu melden. Ich bin ev.-luth. Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit.